

Biomédica 2005;25:295-303

RESEÑA HISTÓRICA

Posibles efectos en la salud asociados con la metalurgia precolombina

Alvaro Javier Idrovo

Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, México.

En el Viejo Mundo algunos investigadores piensan que los efectos adversos en la salud relacionados con la exposición a arsénico influyeron para que se cambiara de usar aleaciones de cobre con arsénico a otras menos tóxicas. En este artículo se evalúa esta hipótesis para las tres grandes tradiciones metalúrgicas precolombinas: Andes centrales, área intermedia y occidente mexicano. Los artefactos metálicos revelan que las concentraciones de arsénico en los Andes centrales fueron similares a las del Viejo Mundo (0,5% a 1%), en el área intermedia los valores eran muy inferiores, mientras en el occidente mexicano fueron muy superiores (7% a 25%). En los Andes centrales se observó inicialmente el uso de bronce arsenical, pero rápidamente se conocieron las aleaciones de cobre-estaño; estas últimas fueron cada vez más preferidas y difundidas por todo el imperio inca. Las evidencias, osteológicas y en objetos artísticos, de amputaciones de los pies entre individuos moches de los Andes centrales apoyan la idea de la presencia de la “enfermedad del pie negro” entre las poblaciones precolombinas. En conclusión, es posible que los efectos nocivos del arsénico se hayan observado en el Nuevo Mundo, y favorecido el cambio hacia aleaciones menos tóxicas. Se requieren nuevos estudios específicos para verificar esta hipótesis.

Palabras clave: arsénico, arqueología, toxicología, contaminación del aire, transición de la salud.

Possible health effects associated with Pre-Columbian metallurgy

In the Old World, several researchers have indicated that adverse health effects were associated with exposure to arsenic, and that this influenced a change in the use of copper-arsenic alloys to others less toxic. This hypothesis was evaluated for three Pre-Columbian metallurgy traditions: Central Andes, Intermediate Area, and West Mexico. The metal artifacts from the Central Andes showed arsenic concentrations similar to those in the Old World (0.5%-1.0%). In the Intermediate Area the values were smallest; however, in West Mexico the arsenic content was very high (7%-25%). In Central Andes arsenical bronze was used initially, but copper-tin alloys when introduced were preferred and distributed throughout the Inca Empire. Osteological and artistic evidences of foot amputations among Moche individuals from Central Andes support the presence of “black foot disease” (a condition associated with arsenic poisoning) among Pre-Columbian populations. In conclusion, the adverse effects of arsenic have been observed in the New World, and that these effects promoted a change toward the use of less toxic alloys.

Keywords: arsenic, archaeology, toxicology, air pollution, health transition.

Correspondencia:

Alvaro Javier Idrovo, Centro de Investigación en Salud Poblacional, Instituto Nacional de Salud Pública, Avenida Universidad 655, Colonia Santa María Ahuacatitlán, CP 62508, Cuernavaca, Morelos, México.
idrovoaj@hotmail.com, idrovoaj@yahoo.com.mx

Recibido: 15/04/05; aceptado: 05/07/05

Los efectos adversos asociados con los humos arsenicales originados en las actividades metalúrgicas son reconocidos desde tiempos inmemoriales. Quizá, las primeras descripciones escritas explícitas se encuentran en *De Re Metallica*, donde Georgius Agricola menciona dos tipos de intoxicación por arsénico: una es la que ocasiona la llamada “enfermedad del pie negro” (*black foot disease*) debida a la gangrena

secundaria a los daños crónicos en los vasos sanguíneos periféricos, y la otra es la inflamación indolora de las extremidades asociada con la intoxicación aguda (1). Además, existen representaciones artísticas mucho más antiguas; no debe olvidarse que el dios griego del fuego y maestro de los armeros, Hefestus o Vulcano, es representado con un pie hacia abajo, adentro y rotado (similar a un pie equino varo) que se ha sugerido, recientemente, sea efecto del arsénico presente en las aleaciones por él manipuladas (2).

En 1987, Harper -recordando estos y otros efectos- postuló una posible relación con la exposición a arsénico entre trabajadores metalúrgicos del Viejo Mundo, durante la denominada Edad del Bronce; también sugirió que estos efectos adversos pudieron ocasionar la búsqueda y el reemplazo por aleaciones menos tóxicas (3). De esta manera, cambió la percepción original de pensar que este tipo de enfermedades hicieron su aparición desde la Edad Media, y especialmente desde la Revolución Industrial, ampliando su posible ocurrencia hasta varios miles de años antes.

Sin embargo, debe recordarse que la aparición de las enfermedades es sólo una de las tres razones que la arqueología tiene para explicar el abandono de las aleaciones de bronce arsenical (Cu-As), y su reemplazo por las de cobre-estaño (Cu-Sn). Las otras dos razones son que el bronce estañoso es más fuerte y duro que el arsenical, y que la mezcla de cobre y arsénico ocurre naturalmente, mientras que la introducción del estaño debe ser deliberada (4-6).

Estos análisis, si bien son muy sugestivos, sin embargo, no son aplicables a las poblaciones del Nuevo Mundo debido a las diferencias que presentan los yacimientos naturales de metales, la organización de las sociedades prehispánicas que lograron tener una tradición metalúrgica, y los propios conocimientos sobre el manejo del metal. Ante esto, el objetivo propuesto para este trabajo fue analizar si la ocurrencia de efectos adversos en la salud asociados con la metalurgia era posible entre los pobladores de la América precolombina.

Para cumplir con tal fin, en un primer momento se revisan las características de las tres grandes tradiciones metalúrgicas prehispánicas, haciendo

especial énfasis en las concentraciones de metales presentes en los artefactos encontrados, como una forma de aproximarse a la exposición a la que se sometieron los trabajadores metalúrgicos; posteriormente, se discute la posible ocurrencia de efectos nocivos a la luz de la evidencia actual disponible y, finalmente, se postulan los posibles impactos que pudo tener la presencia de enfermedades asociadas con la metalurgia en el perfil epidemiológico de las poblaciones precolombinas.

Grandes tradiciones metalúrgicas americanas

La aparición de la metalurgia trajo consigo grandes cambios en las sociedades de todo el mundo. El uso de los metales significó la posibilidad de realizar nuevas actividades, o facilitar las que ya realizaban (7); entre los ejemplos más notorios se encuentran los de Turquía y China, donde se han encontrado las evidencias de trabajo metalúrgico más antiguas conocidas que datan de alrededor de 7.000 a.C. y 5.000 a.C., respectivamente.

De manera similar a lo observado en el Viejo Mundo, el desarrollo de la metalurgia en América estuvo, de alguna manera, ligado a la disponibilidad de metales. En el Nuevo Mundo, por ejemplo, los pobladores de la región del Lago Superior, en América del Norte conocieron los metales (4.000 a.C. - 1.000 d.C.), principalmente el cobre nativo, aunque los reales centros metalúrgicos estuvieron en Suramérica y Mesoamérica (8). Estas grandes tradiciones metalúrgicas fueron: la de los Andes centrales, la de la llamada "área intermedia" y la del occidente mexicano (figura 1).

A continuación se resumen las principales características de cada una de ellas (cuadro 1).

Andes centrales. Las descripciones más antiguas de artefactos metálicos en esta zona datan del año 1.410 a 1.090 a.C., aproximadamente, y corresponden a objetos de cobre y oro martillados encontradas en el valle Lurín, 25 km al sur de la capital peruana (9). Parece ser que la metalurgia se expandió desde esta región hacia el norte, hasta el sur de Colombia, y hacia el sur hasta Chile y Argentina. Si bien existieron varios

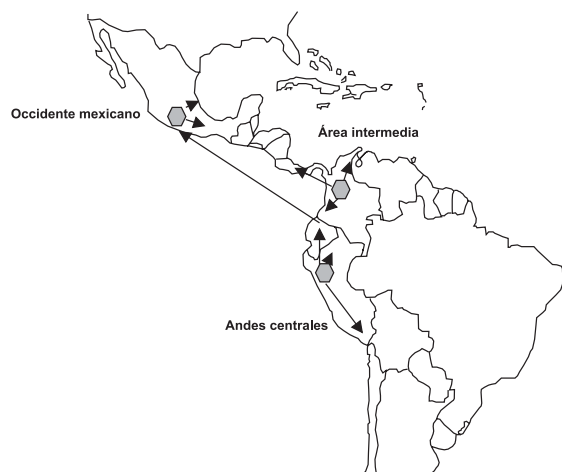


Figura 1. Ubicación de las grandes tradiciones metalúrgicas precolombinas.

grupos humanos que realizaban procesos metalúrgicos, entre todos sobresale la cultura moche (200 a.C.-800 d.C.) del norte peruano que se sabe innovaban frecuentemente en las técnicas de manufactura (10). En estas regiones se encuentran importantes yacimientos de metales, muchos de ellos con minerales arsenicales que favorecieron el amplio desarrollo metalúrgico (11). La aleación más frecuentemente usada fue la de cobre-arsénico y, para ello, usaron dos tipos de minerales: la enargita, encontrada

únicamente en las altas cordilleras, y la arsenopirita que tenía una mayor distribución geográfica llegando, incluso, a algunos valles costeros (12).

Sin embargo, se utilizaron en la región muchas otras aleaciones. Por ejemplo, la aleación de cobre-plata fue usada en Ecuador y por las culturas chimú y moche del norte peruano (10); también se usaron las aleaciones de cobre-oro-plata, oro-cobre y oro-plata, entre otras. No obstante, debe resaltarse que en los estudios recientes se ha evidenciado que la cultura moche era una de las que mayores concentraciones de arsénico usaba si se le compara con otras culturas de los Andes centrales (13).

Además de haber usado ampliamente el martillado del metal en la manufactura, también se practicaron las uniones metalúrgicas y la fundición; la primera hace referencia al uso de calor para la unión de las piezas. La fundición se llevaba a cabo en hornos, de los cuales las descripciones más detalladas se han obtenido de los cronistas españoles; estos hornos o *huairas* estaban ubicados en lugares donde los vientos fueran fuertes, y eran de forma cilíndrica de 1 m de alto, aproximadamente, y un diámetro variable entre 0,5 y 1,0 m. Los objetos así hechos eran, principalmente, adornos y herramientas como láminas agrícolas, puntas de lanza y cinceles (11).

Cuadro 1. Comparación de las técnicas metalúrgicas de las tres grandes tradiciones precolombinas.

Características	Tradición metalúrgica		
	Andes centrales	Área intermedia	Occidente mexicano
Época de aparición	1.500 a.C.	Siglo X a.C.	600-800 d.C.
Aleaciones principales	Bronce (Cu-As) Bronce (Cu-Sn) Cobre-oro-plata	"Tumbaga" (oro-cobre)	Bronce (Cu-As) Cobre-plata Cobre-arsénico-estaño Cobre-latón
Técnicas principales de manufactura	Martillado Uniones metalúrgicas Fundición	Cera fundida	Martillado Cera fundida Fundición
Técnicas para manejo del color	Plateado por reemplazo electroquímico Dorado por oxidación Pintura con cinabrio	Dorado por oxidación	Concentración de arsénico en la aleación
Concentraciones de arsénico	Altas (0,5% a 1%)	Mínimas	Muy altas (7% a 25%)
Usos principales	Objetos utilitarios	Ornamentos	Cascabeles

El manejo del color de los objetos fabricados fue de especial importancia en los Andes centrales; las técnicas más utilizadas fueron el plateado por reemplazo electroquímico, el dorado por oxidación y la pintura con cinabrio. No es de extrañar que los trabajadores metalúrgicos de la cultura moche, al norte del Perú, fueran quienes más destreza mostraran en las dos primeras.

En el plateado por reemplazo electroquímico, la plata se disuelve en una mezcla de sales corrosivas, previamente neutralizada con carbonato de sodio; en estas condiciones se presenta una reacción de óxido-reducción en la cual los iones del metal se depositan sobre el sustrato, mientras parte del cobre se oxida y pasa a ser parte de la solución. Luego, el metal debía someterse a calentamiento para mejorar la adhesión del depósito al sustrato y, posteriormente, ser pulido hasta lograr el brillo y el color buscado (14,15).

Por su parte, el dorado por oxidación (*mise-en-couleur*) consiste en el calentamiento de un objeto con oro hasta que se oxida; de esta manera, se produce una película superficial de óxido cuproso que, luego, es retirada por medio de ácidos de jugos vegetales. Al limpiar el óxido de cobre la superficie queda recubierta de una capa de oro tanto más gruesa cuanto más se repite el procedimiento, logrando un color más dorado (16).

El uso del cinabrio para pintar los metales es uno de los rasgos más característicos de la cultura sicán (700-900 d.C. a 1.470-1.533 d.C.) que se ubicó en la costa septentrional peruana (17). El cinabrio es sulfuro de mercurio, y brinda colores que varían entre el canela y el rojo escarlata. Los efectos adversos en la salud humana asociados con el mercurio son ampliamente conocidos, y han llamado especial atención en varios países latinoamericanos donde se extrae oro de aluvión en la actualidad (18,19), pero debido a que en los periodos prehispánicos no fue ampliamente usado no se revisa en este artículo.

El tiempo transcurrido entre empezar a usar aleaciones de cobre-arsénico y conocer las aleaciones de cobre-estaño fue relativamente corto si se compara con lo ocurrido en el Viejo Mundo; sólo unos 150 años pasaron, entre los

años 850 y 1.000 d.C., aproximadamente, para observar objetos de cobre-estaño. Su uso se diseminó ampliamente después con la expansión inca desde el centro de Chile hasta el norte de Ecuador, pese a que se siguieron usando las aleaciones con bajas concentraciones de arsénico (entre 0,5% y 1%) para mejorar las propiedades de dureza entre 10% y 30% (6).

Los experimentos con los que se han replicado las prácticas metalúrgicas prehispánicas han demostrado que se puede usar arsénico, con lo cual disminuye notablemente el problema de emisiones potencialmente nocivas para la salud, si se funden en hornos minerales con óxido de cobre junto con minerales con sulfato arsenical ferroso (20).

Area intermedia. La imponente presencia de los vestigios arqueológicos de los aztecas y los mayas en Mesoamérica y los incas en los Andes suramericanos, durante mucho tiempo hicieron que los arqueólogos vieran con relativo desprecio a las sociedades que habitaron en las regiones que están entre estas dos, denominándola por eso simplemente como “área intermedia”.

Sin embargo, los hallazgos hechos en las últimas décadas cada vez ratifican más que el menor desarrollo de sus ciudades y templos respondía a otras concepciones del poder, menos jerárquicas (21), y no por ser culturas inferiores. Dentro de esta zona se encuentra la denominada “baja Centroamérica” que, para algunos arqueólogos, debería estudiarse de manera independiente (22). No obstante, para los objetivos del presente trabajo se consideran como una sola región dada las similares características de la metalurgia.

De acuerdo con el análisis de carbono 14 realizado en núcleos de carbón, arcilla y otros materiales asociados a piezas de oro de la cultura sinú y quimbaya que poblaron algunas regiones del norte de la actual Colombia, la metalurgia del área intermedia se inició alrededor del siglo X a.C. y, de allí, se difundió a Centroamérica, las Antillas y Ecuador (23). Esto ocurrió mucho antes que apareciera la metalurgia en Puerto Rico, datada hacia el 100 a.C., previamente considerada como la más antigua con aleaciones de oro y cobre de

América (24). Esta tradición metalúrgica tuvo como principales características el uso de la “tumbaga” como su principal aleación, el tener como técnica básica la fundición a la cera perdida, y el utilizar el método de dorado por oxidación para darle color a los objetos.

Si bien la aleación más usada fue la tumbaga, mezcla de oro y cobre, esta tradición también usó -aunque en menor cantidad- la plata y el platino, lo cual está relacionado con los importantes yacimientos de oro, cobre, plata y platino que existen en esta región (25). De acuerdo con los análisis realizados, parece existir una tendencia con el paso del tiempo a disminuir el contenido de oro de la tumbaga (23).

En relación con las concentraciones de arsénico, que resulta ser el metaloide que puede haber ocasionado problemas de salud en los Andes centrales, los análisis de muestras del área intermedia muestran concentraciones bajas (26).

El proceso para obtener un objeto de oro mediante el método de la “cera perdida” empezaba con la fabricación de un modelo en cera, obtenida de panales de abejas, que luego era recubierto con arcilla. Luego, el oro de aluvión líquido, después de ser fundido en pequeños crisoles colocados dentro de hornillas de cerámica refractaria, era vertido dentro del molde desplazando poco a poco la cera y asumiendo la forma dada previamente a ésta (27).

No hay evidencias arqueológicas contundentes de cómo eran los hornos utilizados por los trabajadores metalúrgicos del área intermedia; sin embargo, se ha descrito un recipiente de cerámica abierto en las partes superior e inferior que cuenta con una partición interna abierta por dos ventanas, proveniente de la cultura quimbaya del suroeste colombiano, que tiene las características necesarias para soportar el calor requerido en las labores metalúrgicas (28). El manejo del color mediante el dorado por oxidación presentó algunas diferencias entre los trabajadores metalúrgicos de la zona; en Panamá parece que la película superficial de óxido cuproso era disuelta por el ácido de carbonato de amonio presente en la orina (16), mientras que en Colombia se usaron ácidos provenientes de vegetales (23).

Occidente mexicano. En los lugares donde se ubicaron los grandes centros urbanos mesoamericanos como Teotihuacán, Monte Albán y los de la cultura maya, no hubo desarrollo de la metalurgia hasta antes del periodo postclásico (900 d.C.-1.521 d.C.). Sin embargo, en el occidente mexicano, que comprende los actuales estados de Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, sur de Sinaloa, norte de Guerrero y partes del Estado de México, hubo un foco metalúrgico que heredó los desarrollos de los Andes centrales y el área intermedia por vía marítima, dado que no hay continuidad de vestigios por vía terrestre (29); del Ecuador aprendió el martillado y posterior recocido de los metales, y del área intermedia, el método de la cera perdida. En esta región abunda el cobre en forma de calcopirita, aunque también se presenta como malaquita, azurita y bornita, y el arsénico como arsenopirita; también hay yacimientos importantes de plata junto con latón, zinc y oro (30). De especial interés para el tema de este trabajo es la ausencia casi total de estaño, lo que impidió que se manufacturaran grandes cantidades de objetos de bronce estañoso.

Los objetos más frecuentes en el occidente mexicano son los cascabeles, usados como parte del atuendo en ritos y danzas; también se encuentran agujas de coser, argollas para sostener el cabello, pinzas para depilación, hachas y cinceles (31). Las concentraciones de arsénico encontradas en los cascabeles, en general, varían entre 7% y 25%. Estas cantidades del metaloide están relacionadas con el color y el sonido que se querían obtener. Con muy altas concentraciones de arsénico se obtenía plateado, y con menos, dorado; así mismo, el uso de aleaciones facilitaba el manejo del metal lo cual permitía que el tamaño aumentara y las formas variaran, de manera que los sonidos eran más diversos al lograr diferencias en el volumen de las cámaras de resonancia y el tamaño de la abertura de la base (31).

Efectos nocivos de la exposición al arsénico

En la actualidad, existe evidencia que relaciona la exposición a arsénico con múltiples lesiones y enfermedades. Debido a que nuestro interés se centra en la exposición por inhalación, la cual no suele ser la más importante en la actualidad, sólo

nos enfocaremos a revisar los efectos que ocurren asociados a esta vía de exposición que, además, son generalmente por exposición crónica.

Se sabe que los afectados pueden presentar síntomas inespecíficos como dolor abdominal, diarrea y dolor en la faringe, de inicio insidioso. Lesiones ya evidentes de exposición se encuentran en la piel; las más frecuentes son la hiperpigmentación palmar, la queratosis solar y la neoplasia conocida como enfermedad de Bowen. El arsénico también causa lesiones al miocardio, arritmias cardíacas, cardiomiopatías, la “enfermedad del pie negro”, neuropatías periféricas tipo Guillain-Barré y se asocia con cáncer de piel, pulmón, hígado, riñón y vejiga (32).

Teniendo en mente estos posibles efectos adversos sobre la salud, ¿dónde deben buscarse evidencias paleopatológicas que indiquen su ocurrencia en individuos de poblaciones prehispánicas? La respuesta más obvia es en los huesos debido a su relativa mayor disponibilidad e, incluso, posibilidad de presentar traumatismos característicos de la metalurgia, lo cual facilitaría su interpretación (33). Por tal razón, es importante la búsqueda de lesiones similares al pie equino varo que puedan señalar la presencia de la “enfermedad del pie negro”. Infortunadamente, no sabemos que se hayan descrito este tipo de lesiones entre los pobladores de las tradiciones metalúrgicas prehispánicas (34-38). Algo similar ocurre para las lesiones de tejidos blandos, como el cáncer pulmonar, que debido al muy pequeño número de momias disponibles dificulta en gran medida su estudio.

De lo que sí existe evidencia, osteológica y en objetos artísticos, es de la práctica de amputación de pies entre individuos de la cultura moche que, como vimos previamente, es una de las que tuvo un mayor desarrollo metalúrgico. Verano y colaboradores (39) reportaron tres casos de amputación intencional en los que existen huellas de infección y, además, describen que en una revisión de las piezas artísticas que presentan amputación o mutilación, se ha observado que más de 50% de los individuos no tienen los dos pies y 26% sólo tiene uno; además, todos los amputados son hombres con vestimentas

diferentes a las de las clases altas. Lo más interesante es que el tipo de amputación del tobillo observada en las muestras osteológicas es muy similar a la propuesta por sir James Syme en 1842; este cirujano inglés mostró tener mejores resultados cuando hacía amputaciones mediante desarticulación que con las técnicas de corte de las tibias. La hipótesis de Verano y colaboradores, entonces, es que la cultura moche desarrolló técnicas quirúrgicas de amputación caracterizadas por su buen pronóstico, aproximadamente, 1.500 años antes que los europeos (39). La amputación, mediante la desarticulación del tobillo, la curación y la sutura del miembro, pudo ser el tratamiento dado a los individuos con “enfermedad de pie negro”, aunque debe tenerse presente que en esta cultura fue frecuente el sacrificio humano mediante desmembramiento (40). Otra posible evidencia que requiere mayor estudio es la de una cerámica de la cultura Tumaco, del sur de Colombia, que se sabe tuvo influencia de los Andes centrales; ésta presenta ausencia del antepie derecho (41) de manera similar a lo observado en la cultura moche.

En el occidente mexicano no se encontraron evidencias osteológicas de efectos adversos, pese a las altísimas concentraciones de arsénico allí trabajadas. Las razones para ello pueden ser múltiples, entre las que se pueden resaltar la ausencia de un estudio sistemático de los restos osteológicos, la dificultad de encontrar huesos de los pies en buenas condiciones para análisis paleopatológicos, y el conocimiento de técnicas desarrolladas en los Andes centrales y el área intermedia que disminuyen la nocividad de los humos metalúrgicos. Sin embargo, existen varias representaciones artísticas de lesiones similares a pie equino varo en murales de Atetelco y Tepantitla, en Teotihuacán; en una figura femenina pintada en el *Códice Vaticano B*, y en una descripción de Huitzilopochtli, dios azteca de la guerra o el sol (42,43). El posible origen tóxico de estas lesiones, hasta el momento, no ha sido estudiado y, hasta ahora, se atribuye a causas genéticas. Además, es interesante señalar que los historiadores del arte recientemente han llamado la atención de que en el occidente mexicano y su zona de influencia, la forma más frecuente en que aparece el pie es su ausencia

(44). ¿Tendrá alguna relación con los efectos nocivos de la metalurgia, al menos, en algunos contextos específicos?

Conclusiones

En este trabajo se compararon las características de las tres grandes tradiciones metalúrgicas precolombinas, y se obtuvo como resultado que existen diferencias bien acentuadas. En los Andes centrales y su área de influencia, el contenido de arsénico presente en los objetos metálicos indica que sus concentraciones fueron similares a las descritas en las poblaciones del Viejo Mundo; en el área intermedia, los niveles de arsénico son mínimos, mientras en el occidente mexicano son mucho más elevadas, superando muchas veces el 20%. Si aceptamos la hipótesis de Harper (3) que en el Viejo Mundo se cambió el bronce arsenical por las aleaciones de cobre-estaño debido, entre otras causas, a los efectos adversos en la salud asociados, en una primera aproximación pensaríamos que dichos efectos se pudieron presentar en los Andes centrales y, sobre todo, el occidente mexicano; el área intermedia, debido a la práctica de una metalurgia “salubre” estaría, entonces, libre de estos efectos.

La búsqueda de efectos específicos en la salud de los grupos humanos que habitaron estas zonas resultó en un gran desafío. La mayor parte de la evidencia disponible, siempre escasa, se fundamenta en las lesiones presentes en los huesos, ya que los tejidos blandos en muy pocas ocasiones se encuentran conservados. Eso redujo la búsqueda a evidencias que indicaran la presencia de la “enfermedad del pie negro” o lesiones similares al pie equino varo. Es importante señalar que muchas lesiones son muy pocas veces descritas en estudios paleopatológicos; las razones de esto son que pudieron ser poco frecuentes, no afectaban los huesos, la muerte ocurría antes de que la enfermedad se expresara en el esqueleto, la enfermedad no era diagnosticada o el diagnóstico era incorrecto (45). El pie equino varo y otras lesiones similares que pueden servir de diagnóstico diferencial, es una entidad poco descrita entre poblaciones antiguas debido a la pobre recuperación de los huesos de los pies durante las excavaciones (46).

Aunque la “enfermedad del pie negro” no se pudo hallar directamente, su posible tratamiento mediante la amputación quirúrgica sí es evidente en la cultura moche de los Andes centrales. El tener allí conjuntamente a trabajadores metalúrgicos que usaron el bronce arsenical y, además, demostraron gran capacidad de innovación en las técnicas metalúrgicas y evidencias de amputaciones quirúrgicas con fines obviamente terapéuticos -desarrollos no logrados sino por pocas culturas en el mundo (47)- apoya la idea de que en los Andes centrales hubo la necesidad de tratar enfermedades asociadas con la exposición a humos originados en la metalurgia. Las amputaciones asociadas a rituales, también frecuentes entre los moches, podrían haber sido sacrificios en los que se pudo aprender y practicar las amputaciones terapéuticas. Una opción que queda para los futuros investigadores es la de hacer aproximaciones a esta problemática mediante el análisis del contenido de arsénico en el cabello y las uñas de los restos disponibles; las experiencias previas muestran que este tipo de estudios son factibles (48).

En conclusión, si fuese verdad que el arsénico tuvo un impacto negativo sobre la salud de los grupos humanos precolombinos, éste es un ejemplo que podría refutar las afirmaciones generales que presenta la teoría de la transición epidemiológica. Las poblaciones de las tres tradiciones metalúrgicas precolombinas ya habían dejado de ser cazadores-recolectores nómadas y, con los conocimientos en la agricultura, se habían asentado en algunas regiones específicas; es decir, que ya habían superado la primera transición epidemiológica (49). La teoría indica que el perfil epidemiológico de este tipo de poblaciones debió estar dominado por una alta frecuencia de enfermedades infecciosas, especialmente, las transmitidas persona a persona, y las relacionadas con las carencias nutricionales (50). La presencia de enfermedades crónicas como la del “pie negro” y, quizá, algunas neoplasias (51) también asociadas con el arsénico, podría contradecir en alguna medida la teoría, dado que los pocos casos aquí presentados son sólo la punta del iceberg de la real ocurrencia (52). Sin embargo, debido a la ausencia de datos sobre el

número de individuos expuestos directamente a los humos metálicos, es imposible estimar el impacto que tuvieron estas enfermedades en el patrón global de la enfermedad.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado.

Referencias

1. **Weber LW.** Georgius Agricola (1494-1555): scholar, physician, scientist, entrepreneur, diplomat. *Toxicol Sci* 2002;69:292-4.
2. **Aterman K.** From Horus the child to Hephaestus who limps: a romp through history. *Am J Med Genet* 1999; 83:53-63.
3. **Harper M.** Possible toxic metal exposure of prehistoric bronze workers. *Br J Ind Med* 1987;44:652-6.
4. **Charles JA.** From copper to iron. The origin of metallic materials. *J Metals* 1979;31:8-13.
5. **Ravich IG, Ryndina NV.** Early copper-arsenic alloys and the problem of their use in the Bronze Age of the North Caucasus. *Bulletin of the Metals Museum* 1995; 23:1-18.
6. **Lechtman H.** Arsenic bronze: dirty copper or chosen alloy? A view from the Americas. *J Field Archaeol* 1996; 23:477-514.
7. **Tylecote RF.** A history of metallurgy. London: The Institute of Materials; 1992. p.1-256.
8. **Patterson CC.** Native copper, silver, and gold accessible to early metallurgists. *Am Antiq* 1971; 36:286-321.
9. **Burger R, Gordon RB.** Early central Andean metalworking from Mina Perdida, Perú. *Science* 1998; 282:1108-11.
10. **Lechtman H.** Traditions and styles in Central Andean metalworking. En: Maddin R, editor. *The beginning of use of metals and alloys*. Boston: Massachusetts Institute of Technology; 1988. p.344-78.
11. **Lechtman H.** A metallurgical site survey in Peruvian Andes. *J Field Archaeol* 1976;3:1-42.
12. **Lechtman H.** The production of copper-arsenic alloys in the Central Andes: highland ores and coastal smelters? *J Field Archaeol* 1991;18:43-76.
13. **Chapdelaine C, Kennedy G, Uceda-Castillo S.** Neutron activation analysis of metal artefacts from the Moche site, north coast of Perú. *Archaeometry* 2001; 43:373-91.
14. **Lechtman H.** A Pre-Columbian technique for electrochemical replacement plating of gold and silver on copper objects. *J Metals* 1979;30:154-60.
15. **Lechtman H, Erlij A, Barry E.** New perspectives on Moche metallurgy: techniques of gilding copper at Loma Negra, Northern Peru. *Am Antiq* 1982;47:3-30.
16. **Lothrop SK, Bergsoe P.** Aboriginal gilding in Panama. *Am Antiq* 1960;26:106-8.
17. **Shimada I, Merkel JF.** Copper-alloy metallurgy in Ancient Perú. *Sci Am* 1991;25:80-6.
18. **Malm O.** Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environ Res* 1998;77:73-8.
19. **Idrovo AJ, Manotas LE, Villamil de García G, Romero SA, Ortiz J, Azcárate CE et al.** Niveles de mercurio y percepción del riesgo entre una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). *Biomédica* 2001;21:134-41.
20. **Lechtman H, Klein S.** The production of copper-arsenic alloys (arsenic bronze) by cosmelting: modern experiment, ancient practice. *J Archaeol Sci* 1999; 26:497-526.
21. **Reichel-Dolmatoff G.** Arqueología de Colombia: un texto introductorio. Bogotá: Fundación Segunda Expedición Botánica; 1986. p.1-208.
22. **Linares OF.** What is Lower Central American archaeology? *Annu Rev Anthropol* 1979;8:21-43.
23. **Plazas C.** Cronología de la metalurgia colombiana. *Boletín Museo del Oro* 1998;44/45:3-77.
24. **Siegel PE, Severin KP.** The first documented prehistoric gold-copper alloy artefact from the West Indies. *J Archaeol Sci* 1993;20:67-79.
25. **Cooke R, Isaza I, Griggs J, Desjardins B, Sánchez LA.** Who crafted, exchanged, and displayed gold in Pre-Columbian Panama? En: Quilter J, Hoopes JW, editores. *Gold and power in Ancient Costa Rica, Panamá, and Colombia*. Washington, D.C.: Dumbarton Oaks Research Library and Collection; 2003. p.91-158.
26. **Scott DA.** Technical examination of ancient South American metals: some examples from Colombia, Perú and Argentina. *Boletín Museo del Oro* 1998;44/45:79-105.
27. **Falchetti AM.** The seed of life: the symbolic power of gold-copper alloys and metallurgical transformations. En: Quilter J, Hoopes JW, editores. *Gold and power in Ancient Costa Rica, Panamá, and Colombia*. Washington, D.C., Dumbarton Oaks Research Library and Collection; 2003. p.345-81.
28. **Bruhns KO.** A Quimbaya gold furnace? *Am Antiq* 1970; 35:202-3.
29. **Hosler D, Stresser-Pean G.** The Huastec region: a second locus for the production of bronze alloys in Ancient Mesoamerica. *Science* 1992;257:1215-20.
30. **Hosler D, Marcfarlane A.** Copper sources, metal production and metals trade in Late Postclassic Mesoamerica. *Science* 1996;273:1819-24.

31. **Hosler D.** The sounds and colors of power: the sacred metallurgical technology of Ancient West Mexico. Cambridge: MIT Press; 199. p.1-310.
32. **Ratnaike RN.** Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgrad Med J* 2003;79:391-6.
33. **Greenfield HJ.** The origins of metallurgy: distinguishing stone from metal cut-marks on bones from archaeological sites. *J Archaeol Sci* 1999;26:797-808.
34. **Correal-Urrego G.** Algunas enfermedades precolombinas. *Rev Univ Nac Colomb* 1985;1:14-27.
35. **Bridges PS.** Prehistoric arthritis in the Americas. *Annu Rev Anthropol* 1992;21:67-91.
36. **Sotomayor-Tribín HA.** Arqueomedicina de Colombia prehispánica. Segunda edición. Santafé de Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada; 1999. p.1-158.
37. **Verano JW, Lombarda GP.** Paleopatología en Sudamérica andina. *Bull Instit Fr Et And* 1999;28:91-121.
38. **Vérut DD.** Precolumbian dermatology and cosmetology in Mexico. New York: Schering Corporation, Chanticleer Press; 1973. p.1-30.
39. **Verano JW, Anderson LS, Franco R.** Foot amputation by the Moche of Ancient Perú: osteological evidence and archaeological context. *Int J Osteoarchaeol* 2000; 10:177-88.
40. **Hill E.** Sacrificing: Moche bodies. *Journal of Material Culture* 2003;8:285-99.
41. **Sotomayor-Tribín HA.** Enfermedades en el arte prehispánico colombiano. *Boletín Museo del Oro* 1990; 29:62-73.
42. **Vargas L, Matos E.** Anomalías del pie en murales y códices prehispánicos. *Anal Antropol* 1972;9:95-103.
43. **Matos-Moctezuma E.** Testimonios de las enfermedades en el México antiguo. *Arqueología Mexicana* 2005;13: 28-31.
44. **Escalante-Gonzalbo P.** Manos y pies en Mesoamérica. Segmentos y contextos. *Arqueología Mexicana* 2005;12:20-7.
45. **Wood JW, Milner GR, Harpending HC, Weiss KM.** The osteological paradox: problems of inferring health from skeletal samples. *Curr Anthropol* 1992;33:343-70.
46. **Roberts CA, Knüsel CJ, Race L.** A foot deformity from a Romano-British cemetery at Gloucester, England, and the current evidence for *talipes* in paleopathology. *Int J Osteoarchaeol* 2004;14:389-403.
47. **Friedmann LW.** Amputation in Pre-Columbian America. *Arch Phys Med Rehab* 1973;54:323-5.
48. **Idrovo AJ, Romero WM, Silva E, Villamil G, Ortiz J.** Determinación de mercurio en muestras biológicas prehispánicas colombianas. Primeras experiencias y perspectivas de investigación. *Biomédica* 2002;22:67-70.
49. **Barret R, Kuzawa CW, McDade T, Armelagos GJ.** Emerging and re-emerging infectious diseases: the third epidemiologic transition. *Annu Rev Anthropol* 1998; 27:247-71.
50. **Omran AR.** The epidemiologic transition. A theory of the epidemiology of population change. *Milbank Mem Fund Q* 1971;49:509-38.
51. **Capasso LL.** Antiquity of cancer. *Int J Cancer* 2005; 113:2-13.
52. **Last J.** The iceberg "completing the clinical picture" in general practice. *Lancet* 1963;ii:28-31.